

(11)特許出願公開番号

特開平10-92722

(43) 公開日 平成10年(1998)4月10日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

FI

H01L 21/027

H01L 21/30

516

D

G03F 7/20

521

G03F 7/20

521

H01L 21/30

514

E

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全20頁)

(21)出願番号

特願平8-245809✓

(22) 出願日

平成8年(1996)9月18日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 發明者 西 健爾

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

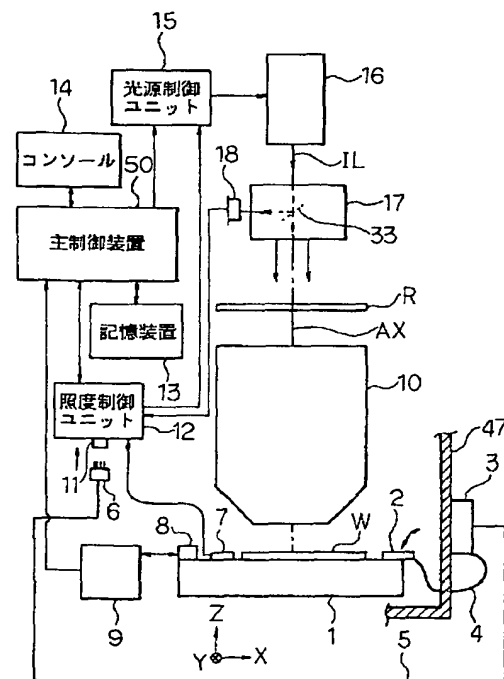
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 露光装置

(57) 【要約】

【課題】 露光装置に備えられた照度センサの較正精度を高め、較正用のデータの処理速度を高める。

【解決手段】 照明系１７中のビームスプリッタ３３により分割された露光光１Ｌの照度を検出するインテグレートセンサ１８、及びウエハステージ１上に固定された固定型照度センサ７等の常設の照度センサを校正するための着脱型照度計２をウエハステージ１上に着脱自在に設置し、着脱型照度計２からの出力信号をセンサ制御装置３等を介して照度制御ユニット１２にオンラインで供給する。例えばインテグレートセンサ１８の校正に際し、露光光１Ｌの照度をインテグレートセンサ１８及び着脱型照度計２で同期して計測し、それらの出力信号を照度制御ユニット１２内で演算処理する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 感光基板の位置決めを行う基板ステージを有し、露光用の照明光のもとでマスクに形成されたパターンを前記基板ステージ上の前記感光基板に転写露光する露光装置において、

前記基板ステージ上に着脱自在で該基板ステージ上での前記照明光の照度を直接計測する着脱型の照度センサと、

前記基板ステージ上での前記照明光の照度を直接的、又は間接的に計測する常設の照度センサと、

前記着脱型の照度センサの計測データを取り込むインタフェース装置と、

該インタフェース装置を介して取り込まれる前記着脱型の照度センサの計測データと前記常設の照度センサの計測データとの関係を求めて記憶する露光量制御手段と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項2】 請求項1記載の露光装置であって、前記常設の照度センサは、前記照明光から分離された光束の照度を検出することによって前記基板ステージ上での前記照明光の照度を間接的に計測する間接型の照度センサであり、

前記露光量制御手段は、前記インタフェース装置を介して前記着脱型の照度センサの計測データを取り込むのに同期して前記常設の照度センサの計測データを取り込むことを特徴とする露光装置。

【請求項3】 請求項1、又は2記載の露光装置であって、

前記露光用の照明光はパルス発光される照明光であり、前記露光量制御手段は、前記露光用の照明光のパルス発光に同期して前記インタフェース装置を介して前記着脱型の照度センサの計測データを取り込むことを特徴とする露光装置。

【請求項4】 請求項1、2、又は3記載の露光装置であって、

前記インタフェース装置は、コードレス方式で前記着脱型の照度センサの計測データを前記露光量制御手段に供給することを特徴とする露光装置。

【請求項5】 感光基板の位置決めを行う基板ステージを有し、露光用の照明光のもとでマスクに形成されたパターンを前記基板ステージ上の感光基板に転写露光する露光装置において、

前記基板ステージ上での前記照明光の照度を直接的、又は間接的に計測する常設の照度センサと、

前記基板ステージ上に着脱自在で、前記常設の照度センサの出力の較正を行うために前記基板ステージ上での前記照明光の照度を直接計測する第1の着脱型の照度センサと、

所定の基準となる第2の着脱型の照度センサの出力に対する前記第1の着脱型の照度センサの出力の補正値を記憶する記憶手段と、を有することを特徴とする露光装

置。

【請求項6】 感光基板の位置決めを行う基板ステージを有し、露光用の照明光のもとでマスクに形成されたパターンを前記基板ステージ上の感光基板に転写露光する露光装置において、

前記基板ステージ上での前記照明光の照度を直接的、又は間接的に計測する常設の照度センサと、

前記基板ステージ上に着脱自在で、前記常設の照度センサの出力の較正を行うために前記基板ステージ上での前記照明光の照度を直接計測する第1の着脱型の照度センサと、

該第1の着脱型の照度センサの出力の基準となる第2の着脱型の照度センサと、

前記基板ステージ上での前記露光用の照明光を分割して前記第1及び第2の着脱型の照度センサに導く分割光学系と、

前記第1及び第2の着脱型の照度センサの出力を並行に取り込んで比較する信号処理装置と、を有することを特徴とする露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程でマスク上のパターンを感光基板上に露光するために使用される露光装置に関し、更に詳しくは感光基板が載置されるステージ上での露光光の照度を直接的、又は間接的に計測するための常設の照度センサの較正を行う機能を備えた露光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、例えば半導体素子等を製造するために、マスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）のパターンを投影光学系を介して、感光基板としてのフォトリソグが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するための一括露光型の投影露光装置（ステッパー等）、又は投影光学系を介さずに直接ウエハ上にレチクルのパターンを転写するプロキシミティ方式の露光装置等の露光装置が使用されている。また、最近では投影光学系を大型化することなく、実質的に露光面積を大きくするために、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期走査してレチクルのパターンをウエハ上の各ショット領域に逐次転写するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置も使用されつつある。

【0003】一般にウエハ上のフォトリソグには適正露光量が定められている。そこで、そのような露光装置には、ウエハ上での露光光の照度を直接的、又は間接的に計測するための照度センサが備えられ、この照度センサの計測値に基づいてウエハ上での露光量を制御している。図12は、従来の照度センサを備えた投影露光装置

10

20

30

40

50

を示し、この図 12 において、露光光源 109 から射出された露光光 1 L は、照明系 103 を介してレチクル R のパターン領域を照明し、その露光光 1 L のもとでレチクル R のパターンの像が投影光学系 102 を介して、フォトレジストが塗布されたウエハ W 上の各ショット領域に転写される。ウエハ W はこのウエハを 3 次元的に位置決めするためのウエハステージ 101 上に保持されている。

【0004】また、照明系 103 は、フライアイレンズ、このフライアイレンズから射出された露光光の一部を分離するビームスプリッタ 111、及びコンデンサレンズ等を備え、そのビームスプリッタ 111 で分離された露光光 1 L が、光電検出器よりなる照度センサとしてのインテグレートセンサ 110 に入射し、インテグレートセンサ 110 の出力信号が照度制御ユニット 105 に供給されている。この照度制御ユニット 105 は装置全体の動作を制御する主制御装置 107 に接続され、主制御装置 107 が入力装置やディスプレイよりなるコンソール 112 に接続されている。

【0005】ビームスプリッタ 111 は一定の反射率を有し、インテグレートセンサ 110 で検出された照度に基づいて、ビームスプリッタ 111 を透過してウエハ W へ向かう光量の算出が可能である。しかし、実際にはレチクル R や投影光学系 102 等における反射及び吸収による光量を勘案する必要がある。そのため、後述のように予めウエハステージ 101 上に設置した照度計の出力値に対するインテグレートセンサ 110 の出力値の比の値が求められて主制御装置 107 に記憶され、露光時に主制御装置 107 ではその比の値、及びインテグレートセンサ 110 の出力値よりウエハ W 上での露光光の照度を求め、この照度に基づいてウエハ W に対する露光量を制御する。

【0006】また、ウエハステージ 101 上のウエハ W の近傍に、この装置専用の常設の光電検出器よりなる照度センサ 104 が固定され、この照度センサ 104 の出力信号が信号ケーブル 106 を介して照度制御ユニット 105 に供給されている。そして、例えば露光に先立ち、照度センサ 104 の受光部を投影光学系 102 の露光フィールド内に設定し、必要に応じて移動することによって露光光のウエハステージ 101 上での照度や照度

むら等が計測される。

【0007】この場合、半導体素子等の製造ラインには多数の露光装置が設置されているため、各露光装置でウエハに与える露光量間のマッチングを取る必要があり、そのためには露光装置に備えられているインテグレートセンサ 110 及び照度センサ 104 等の入射光量に対する出力（感度）の較正を行う必要がある。即ち、フォトレジストに対する適正露光量は、ある照度のもとで実際に露光時間を種々に変えて露光したウエハを現像し、これによって現れた像の内で例えば最も解像度が高い像の

露光時間と、その照度とから決定される。このため、露光装置毎に照度センサの感度が異なっていると、その感度の違いにより露光装置毎に適正露光量がそれぞれ異なってくる。それらのインテグレートセンサ 110 及び照度センサ 104 の感度の較正を行うために、従来より基準となる着脱自在の照度計 108 が使用されている。

【0008】即ち、照度計 108 は他の露光装置とのマッチングを取るために、ウエハステージ 101 より着脱自在、且つウエハステージ 101 上で移動可能に構成されており、照度計 108 の出力信号は、表示部 113 へ信号ケーブル 114 を介して供給され、表示部 113 に照度計 108 の計測値が表示される。この場合、表示部 113 はオペレータが表示内容を見易いように図 12 の投影露光装置が収納されているチャンバの外部に設置されている。このように、照度計 108 がウエハステージ 101 に対して着脱自在であるため、照度計 108 を用いて、以下のようにインテグレートセンサ 110 及び照度センサ 104 の感度の較正が行われる。その結果、任意の露光装置でウエハ上のフォトレジストに対して所定の露光量（ドーズ）を与える場合、同じ露光量を他の露光装置でも与えることができるようになる。

【0009】図 12 の投影露光装置において、インテグレートセンサ 110 及び照度センサ 104 の感度較正を行う場合には、ウエハステージ 101 上の所定位置に照度計 108 を取り付け、照度計 108 を投影光学系 102 の露光フィールドの中心付近に移動した後、主制御装置 107 からの指令に基づいて、露光光源 109 を点灯し、ウエハステージ 101 上での照度を照度計 108 で計測する。この照度計 108 の出力値 I A は表示部 113 で表示されて、オペレータによって記録される。

【0010】次に、ウエハステージ 101 上に固定された常設の照度センサ 104 を投影光学系 102 の露光フィールドの中心付近に移動し、照度を計測する。照度センサ 104 の出力値 I B は照度制御ユニット 105 においてアナログ／デジタル（A/D）変換され、この A/D 変換後の計測データが主制御装置 107 に供給される。これと並列に、常設のインテグレートセンサ 110 の出力値 I C も照度制御ユニット 105 でサンプリングされて、主制御装置 107 に供給される。主制御装置 107 に供給された照度センサ 104 の出力値 I B 及びインテグレートセンサ 110 の出力値 I C は主制御装置 107 からコンソール 112 に送られ、コンソール 112 のディスプレイに出力値 I B、I C が表示される。

【0011】ここで露光光源 109 の出力を一定と仮定し、オペレータは照度計 108 の出力値 I A に対する、インテグレートセンサ 110 の出力値 I C の比の値  $k_{ic}$ （ $= I A / I C$ ）を求める。この比の値  $k_{ic}$  がインテグレートセンサ 110 の較正のためのパラメータとなる。即ち、露光時のインテグレートセンサ 110 の出力値にパラメータ  $k_{ic}$  を乗じることで、他の露光装置との対応

が取られたウエハW上の実際の照度が計算できる。また、照度計108の出力値IAに対する照度センサ104の出力値IBの比の値 $k_{AB}$ は、照度センサ104の較正のためのパラメータとなる。即ち、照度センサ104の出力値にパラメータ $k_{AB}$ を乗じることで他の露光装置との対応が取られた照度が算出される。

#### 【0012】

【発明が解決しようとする課題】上記の如き従来の技術においては、基準となる照度計108の出力値を表示部113から読み取るタイミングと、照度センサ104及びインテグレートセンサ110の出力値をコンソール112を介して計測するタイミングとが異なるため、露光光源109の出力に時間的なばらつきがあると、上述のように計測されるパラメータ $k_{AC}$ 、 $k_{AB}$ が変動する。そこで、従来はこの変動の影響を軽減するために、照度計108等の出力値IA、IB、ICを長時間計測して平均化するか、又はそれらの出力値IA、IB、ICを複数回計測したときのピークホールド値をそれぞれ求めることで、パラメータ $k_{AC}$ 、 $k_{AB}$ を算出していた。しかしながら、何れの方法でも出力値IAの計測のタイミングと、出力値IB、ICの計測のタイミングとの間のずれは小さくならないために、得られるパラメータの計測精度をあまり高められないという不都合があった。

【0013】更に、基準となる照度計108の出力値IAの表示部113と、照度センサ104及びインテグレートセンサ110の出力値を表示するコンソール112とが離れて独立に管理されているため、計測結果を同時に処理できず、パラメータ $k_{AC}$ 、 $k_{AB}$ の算出に時間がかかるという不都合もあった。また、多数の露光装置を並列に使用するような場合には、基準となる照度計108を複数個用意して、並列に各露光装置の常設の照度センサの較正を行う場合もある。このような場合に、各照度計108間の出力のマッチング精度が悪いと、各露光装置間での照度のマッチング精度も低下するという不都合があった。

【0014】本発明は斯かる点に鑑み、備えられている照度センサの較正を高精度に行うことができると共に、その較正のための計測データを高速処理できる露光装置を提供することを第1の目的とする。更に本発明は、基準となる照度センサの較正を高精度に行うことによって、露光装置間での照度の計測値のマッチング精度を高めることができる露光装置を提供することを第2の目的とする。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光装置は、例えば図1に示すように、感光基板(W)の位置決めを行う基板ステージ(1)を有し、露光用の照明光(IL)のもとでマスク(R)に形成されたパターンを基板ステージ(1)上の感光基板(W)に転写露光する露光装置において、基板ステージ(1)上に着脱自在

で基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を直接計測する着脱型の照度センサ(2)と、基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を直接的、又は間接的に計測する常設の照度センサ(7、18)と、着脱型の照度センサ(2)の計測データを取り込むインタフェース装置(3~6、11)と、このインタフェース装置を介して取り込まれる着脱型の照度センサ(2)の計測データと常設の照度センサ(7、18)の計測データとの関係を求めて記憶する露光量制御手段(12、50)と、を有するものである。

【0016】斯かる本発明の第1の露光装置によれば、着脱自在の照度センサ(2)からインタフェース装置(3~6、11)を介して直接計測データが取り込まれ、ほぼ同時に常設の照度センサ(7、18)の計測データも取り込まれ、着脱型の照度センサ(2)の計測データと常設の照度センサ(7、18)の計測データとの関係、即ち計測データの比の値、又はオフセット等が求められる。これは常設の照度センサ(7、18)の計測データの較正が行われたことを意味する。この際に、着脱自在の照度センサ(2)、及び常設の照度センサ(7、18)の計測データはほぼ同時に取り込まれているため、露光用の照明光(IL)の光源の出力の時間変動、例えば水銀ランプのアーク揺らぎによる出力の変動や、エキシマレーザ光源のパルスエネルギーのばらつきがあっても、2つの照度センサの計測データの関係が正確に求められ、常設の照度センサ(7、18)の較正が高精度に行われる。

【0017】また、2つの照度センサの計測データは共通に露光量制御手段(12、50)に取り込まれてオンラインで高速処理されるため、常設の照度センサ(7、18)の較正が高速に行われる。また、オペレータの介入等に起因する入力の間違い等が発生しない。この場合、その常設の照度センサの一例は、照明光(IL)から分離された光束の照度を検出することによって基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を間接的に計測する間接型の照度センサ(18)であり、その場合、露光量制御手段(12、50)は、インタフェース装置(3~6、11)を介して着脱型の照度センサ(2)の計測データを取り込むのに同期して常設の照度センサ(18)の計測データを取り込むことが望ましい。ここで、間接型の照度センサ(18)とは、照明光(IL)から分割された光束の照度を検出するインテグレートセンサを意味し、インテグレートセンサ及び着脱型の照度センサ(2)の計測データを同期して取り込むことによって、露光用光源の出力の時間変動の影響が無くなり、インテグレートセンサの較正が高精度に行われる。

【0018】また、露光用の照明光(IL)が、パルス発光される照明光である場合、露光量制御手段(12、50)は、露光用の照明光(IL)のパルス発光に同期してインタフェース装置(3~6、11)を介して着脱

型の照度センサ(2)の計測データを取り込むことが望ましい。これにより2つの照度センサの計測タイミングがずれることなく、パルスエネルギーのばらつきがあっても、着脱型の照度センサ(2)に対して常設の照度センサ(7, 18)の較正が高精度に行われる。

【0019】また、例えば図1及び図2(c)に示すように、インタフェース装置(3, 5, 6, 11)は、コードレス方式で着脱型の照度センサ(2A)の計測データを露光量制御手段(12, 50)に供給するようにしてもよい。通常露光装置は温度制御等が行われたチャンパ内に収納されるが、コードレス方式であれば、チャンパの壁を通る配線が不要になるため、着脱型の照度センサ(2A)の取扱いが容易になる。

【0020】また、本発明による第2の露光装置は、例えば図1、図2及び図10に示すように、感光基板(W)の位置決めを行う基板ステージ(1)を有し、露光用の照明光(IL)のもとでマスク(R)に形成されたパターンを基板ステージ(1)上の感光基板(W)に転写露光する露光装置において、基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を直接的、又は間接的に計測する常設の照度センサ(7, 18)と、基板ステージ(1)上に着脱自在で、常設の照度センサ(7, 18)の出力の較正を行うために基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を直接計測する第1の着脱型の照度センサ(2)と、所定の基準となる第2の着脱型の照度センサ(A1)の出力に対する第1の着脱型の照度センサ(2)の出力の補正值(比の値等も含む)を記憶する記憶手段(25)と、を有するものである。

【0021】斯かる本発明の第2の露光装置によれば、第2の着脱型の照度センサ(A1)は第1の照度センサ(2)に対する親機となり、絶対照度の管理が親機、子機、孫機のように段階的に管理される。例えば多数の露光装置を並列に使用するような場合には、基準となる着脱型の照度センサ(2)が多数必要になる。この際に、親機(A1)の入射光量に対する出力の直線性を絶対照度基準とした場合、子機(2)の出力を親機の出力に対する補正值で補正することによって、多数の露光装置間での照度の計測値のマッチング精度が向上する。

【0022】また、本発明による第3の露光装置は、例えば図1及び図11に示すように、感光基板(W)の位置決めを行う基板ステージ(1)を有し、露光用の照明光(IL)のもとでマスク(R)に形成されたパターンを基板ステージ(1)上の感光基板(W)に転写露光する露光装置において、基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を直接的、又は間接的に計測する常設の照度センサ(7, 18)と、基板ステージ(1)上に着脱自在で、常設の照度センサ(7, 18)の出力の較正を行うために基板ステージ(1)上での照明光(IL)の照度を直接計測する第1の着脱型の照度センサ(2)と、この第1の着脱型の照度センサの出力の基準となる

第2の着脱型の照度センサ(A1)と、基板ステージ(1)上での露光用の照明光(IL)を分割して第1及び第2の着脱型の照度センサ(2, A1)に導く分割光学系(61, 62, 63A, 63B)と、第1及び第2の着脱型の照度センサ(2, A1)の出力を並行に取り込んで比較する信号処理装置(59)と、を有するものである。

【0023】斯かる本発明の第3の露光装置によれば、基板ステージ(1)上においてその分割光学系により分割された照明光(IL)の照度を第1及び第2の着脱型の照度センサ(2, A1)により計測して、第1の着脱型の照度センサ(2)の較正を行うことができるため、照明光(IL)の揺らぎや途中の光学系等による影響がなく、第1の着脱型の照度センサ(2)が高精度に較正される。即ち、親機として照度センサ(A1)に対して子機としての照度センサ(2)の較正が行われる。そして、その高精度に較正された第1の着脱型の照度センサ(2)により、常設の照度センサ(7, 18)が高精度で較正される。これによって、露光装置間での照度のマッチング精度が向上する。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明による露光装置の第1の実施の形態につき図1～図7を参照して説明する。本発明はステッパ型、又はステップ・アンド・スキャン方式等の何れの露光装置にも適用できるが、以下の実施の形態は、ステッパ型の投影露光装置に本発明を適用したものである。

【0025】図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、露光時には水銀ランプよりなる露光光源及びシャッタ等を含む光源部16から、ウェハ上のフォトリソに感光性の露光光ILが射出される。光源部16内のシャッタの開閉は、装置全体の動作を統轄制御する主制御装置50が光源制御ユニット15を介して制御し、光源部16内の露光光源の出力も光源制御ユニット15によって制御されており、その露光光源の出力、及びシャッタの開閉により1ショットの露光量が制御される。露光光ILとしては、水銀ランプのi線(波長365nm)やg線等の輝線が使用できる。露光光源としては、その他に、ArFエキシマレーザ光源やKrFエキシマレーザ光源、あるいは銅蒸気レーザ光源やYAGレーザの高調波発生装置等も使用できる。

【0026】光源部16から射出された露光光ILは、照明系17に入射する。図4は、照明系17の内部構成を示す構成図であり、この図4に示すように、照明系17に入射した露光光ILは、オブティカル・インテグレートとしてのフライアイレンズ31に入射する。フライアイレンズ31の各レンズエレメントの射出面にはそれぞれ2次光源が形成され、これらの2次光源により面光源が作られる。フライアイレンズ31の射出面、即ち照明系17の瞳面に面光源の大きさや形状を調整するため

の切り換え自在の複数の開口絞りが配置されている。これらの開口絞りはターレット状の円板30に固定され、円板30を主制御装置50により駆動装置50Aを介して回転することで所望の開口絞りをフライアイレンズ31の射出面に設定できる。

【0027】図6(a)は、図4の円板30上の開口絞りの配置を示し、この図6(a)において、6個の開口絞り52A～52Fが円板30の中心の周りに等角度間隔で固定されている。第1の開口絞り52Aは中間のコヒーレンスファクタ( $\sigma$ 値)で照明を行う場合に使用される円形開口を有し、第2の開口絞り52B及び第3の開口絞り52Cは、それぞれ中心部を遮光した輪帯開口、及び通常の輪帯照明用の開口である。また、第4の開口絞り52Dは通常の照明を行う場合に使用される円形開口であり、第5の開口絞り52Eは周辺に4個の小円形の開口部を有する、所謂変形照明用の開口絞りである。第6の開口絞り52Fは小さい $\sigma$ 値で照明を行う場合に使用される小さい円形開口を有する。

【0028】図4に戻り、ここではフライアイレンズ31の射出面に第1の開口絞り52Aが配置されている。第1の開口絞り52Aを通過した露光光ILはビームスプリッタ33に入射する。ビームスプリッタ33は入射する光束の殆どを透過させ、残りを反射する。露光光IL中の一定の割合の光束が、ビームスプリッタ33から露光光ILの入射光路に対してほぼ直交する方向に反射され、この反射された光束が集光レンズ43を介してフォトダイオード等からなるインテグレートセンサ18に入射する。

【0029】一方、ビームスプリッタ33を透過した露光光ILは、第1リレーレンズ29を介して可変視野絞り(レチクルブラインド)28の開口上に集光され、可変視野絞り28により露光光ILのレチクル上での照明範囲が規定される。可変視野絞り28の開口の形状及び大きさは、駆動装置50Bを介して主制御装置50により設定される。可変視野絞り28を通過した露光光ILは、第2リレーレンズ27、及びコンデンサレンズ26を介してレチクルRのパターン領域に照射される。

【0030】図1に戻り、露光光ILのもとで、レチクルRのパターンの像が投影光学系10を介して投影倍率 $\beta$ ( $\beta$ は例えば $1/4$ 、 $1/5$ 等)で、ウエハW上の各ショット領域のフォトレジスト層に転写される。以下、投影光学系10の光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図1の紙面に平行にX軸、図1の紙面に垂直にY軸を取って説明する。この場合、照明系17からの光束を受光したインテグレートセンサ18からの光電信号は、照度制御ユニット12に供給され、照度制御ユニット12においてアナログ/デジタル(A/D)変換される。照度制御ユニット12からは、A/D変換されたデジタルデータに基づいて、主制御装置50及び光源制御ユニット15に直接現在の露光光ILの照度の情

報が送られ、光源制御ユニット15では、送られた照度が予め設定された照度になるように光源部16内の露光光源の出力を制御する。また、主制御装置50では、予めインテグレートセンサ18の出力とウエハW上での露光光の照度との関係が記憶されており、この関係よりウエハW上での照度を算出し、この算出された照度の積算値がウエハW上のフォトレジストに対する適正積算露光量になるように、光源制御ユニット15を介して光源部16内のシャッタの開閉動作を制御する。

【0031】なお、露光光源がエキシマレーザ光源のようなパルス光源で、且つステッパーのような一括露光型の場合には、光源部16内のシャッタの開閉、光源部16内に設けた減光機構の制御、又はレーザ光源自体の光量可変システム(可変電源等)の制御等によって積算露光量の制御が行われる。一方、露光光源がパルス光源で、且つステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の場合には、光源部16内に設けられる減光機構により露光光の照度を制御するか、又は露光光の照明領域の走査方向の幅や走査速度を制御する等により、積算露光量を制御できる。

【0032】図1において、レチクルRはX方向、Y方向、及び回転方向に微動可能なレチクルステージ(不図示)上に載置されている。レチクルステージの位置は外部に設けた不図示のレーザ干渉計によって高精度に計測されており、そのレーザ干渉計の測定値に基づいて主制御装置50はレチクルステージの位置決めを行う。一方、ウエハWは不図示のウエハホルダ上に真空吸着により保持され、ウエハホルダはX方向、Y方向に移動自在なウエハステージ1上に固定されている。ウエハステージ1には、ウエハWのZ方向の位置や傾斜角等を制御するステージ系も組み込まれている。ウエハステージ1のX方向、Y方向の位置はウエハステージ1上の移動鏡8及び外部のレーザ干渉計9により高精度に計測されており、レーザ干渉計9の計測値は主制御装置50に供給されている。主制御装置50はその計測値に基づいて、ウエハステージ1の位置決め動作を制御する。ウエハステージ1によりウエハWの各ショット領域の中心を投影光学系10の露光中心に移動する動作と、露光動作とがステップ・アンド・リピート方式で繰り返されて、レチクルRのパターンがウエハWの各ショット領域に順次転写される。更に、主制御装置50には、入力装置とディスプレイとを有するコンソール14、及び各種パラメータ等を記憶するための記憶装置13も接続されている。

【0033】また、ウエハステージ1上のウエハWの近くにはフォトダイオード等からなる常設の固定型照度センサ7が設けられている。本例の固定型照度センサ7は、ウエハステージ1上での露光光ILの照度むら計測用のセンサ、最大照度計測用のセンサ、及び露光光ILの全部の照射量を計測するための照射量モニタとして使用される。固定型照度センサ7の受光面はウエハWの表

面とはほぼ同じ高さに設定されており、固定型照度センサ 7 により投影光学系 10 の露光フィールド内の照度又は照射量を計測する際は、ウエハステージ 1 を駆動して固定型照度センサ 7 の受光部を所望の計測点に移動する。固定型照度センサ 7 の出力信号は照度制御ユニット 12 に供給されて A/D 変換される。

【0034】このように本例では、常設の照度センサとしてインテグレートセンサ 18、及び固定型照度センサ 7 が備えられている。そのため、多数の投影露光装置を使用して露光を行うような場合に、各投影露光装置で互いに等しい露光量を設定できるように、インテグレートセンサ 18、及び固定型照度センサ 7 の較正（キャリブレーション）を行う必要がある。

【0035】その較正を行うためにウエハステージ 1 上には、照度の基準となる着脱型照度計 2 が取り外しできるように設置されている。即ち、常設の照度センサの較正を行う際には、オペレータが着脱型照度計 2 をウエハステージ 1 上に取り付ける。この際に、着脱型照度計 2 の受光面もウエハ W の表面とはほぼ同じ高さになるように設定されると共に、ウエハステージ 1 を駆動することで着脱型照度計 2 の受光部を X 方向、Y 方向に移動できるようになっている。また、着脱型照度計 2 は、関係する露光装置間の照度のマッチングを取るために、それらの露光装置間で共通に使用される。

【0036】この場合、本例の投影露光装置の機構部は空調されたチャンバ 47 の内部に設置され、照度制御ユニット 12、主制御装置 50 及びコンソール 14 等の制御部はチャンバ 47 の外部に設置されている。そして、チャンバ 47 の外面に、センサ制御装置 3 がマグネットチャックにより固定されている。着脱型照度計 2 とセンサ制御装置 3 とは、チャンバ 47 の側壁を貫通する信号ケーブル 4 を介して接続されている。

【0037】図 2 (a) は、着脱型照度計 2 の詳細な構成を示す拡大図、図 2 (b) は図 2 (a) の平面図を示している。図 2 (a) 及び (b) に示すように、着脱型照度計 2 は光電変換部 25、及びこの底部に被着された温調素子 20 より構成され、光電変換部 25 上の円形の受光部 19 に入射する光量が光電変換され、光電変換部 25 の温度は温調素子 20 によって所定の許容温度以上にならないように冷却されている。即ち、温調素子 20 はペルチェ素子等の冷却素子等からなり、温調素子 20 の光電変換部 25 に接する面が冷却面となっている。温調素子 20 により、露光光 I L の照射エネルギーによる光電変換部 25 の温度上昇が抑えられ、感度等のセンサ特性のドリフトが軽減される。

【0038】光電変換部 25 及び温調素子 20 にはそれぞれ信号ケーブル 4 を介してセンサ制御装置 3 から電力が供給され、光電変換部 25 の出力信号が信号ケーブル 4 を介してセンサ制御装置 3 に供給されている。また、着脱型照度計 2 は押さえ金具 21 及び止めねじ 22 に

よりウエハステージ 1 上に固定され、押さえ金具 21 を取り外すだけで容易に着脱型照度計 2 をウエハステージ 1 から取り外せるようになっている。また、光電変換部 25 には、後述のようにこの着脱型照度計 2 より上位の基準となる照度センサの出力に対する較正用のデータを記憶した記憶部も含まれている。

【0039】図 1 に戻り、センサ制御装置 3 には着脱型照度計 2 から供給される出力信号、及び較正用のデータを送信するための信号ケーブル 5 の一端が接続され、その信号ケーブル 5 の他端にコネクタ 6 が取り付けられ、照度制御ユニット 12 にはコネクタ 6 に対応するコネクタ 11 が取り付けられている。そして、コネクタ 6 を照度制御ユニット 12 側のコネクタ 11 に差し込むことにより、着脱型照度計 2 と照度制御ユニット 12 とがセンサ制御装置 3 を介して接続され、着脱型照度計 2 の出力信号がセンサ制御装置 3 内で A/D 変換された後、信号ケーブル 5、コネクタ 6、11、及び照度制御ユニット 12 内に組み込まれた GPIB 規格、又は RS232C 規格等の入出力制御部を介して、照度制御ユニット 12 内の信号処理部に取り込まれる。本例では、信号ケーブル 4、5、センサ制御装置 3、コネクタ 6、11 及び照度制御ユニット 12 内の入出力制御部が、着脱型照度計 2 と照度制御ユニット 12 内の信号処理部との間のインタフェース装置を構成している。

【0040】上述のように、インテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 のそれぞれの出力信号も照度制御ユニット 12 に供給されており、常設の照度センサの較正時には主制御装置 50 の指令により、着脱型照度計 2、固定型照度センサ 7、及びインテグレートセンサ 18 の出力値に対して照度制御ユニット 12 において所定の演算が行われ、演算結果が主制御装置 50 に供給される。主制御装置 50 は、照度制御ユニット 12 により演算処理されたデータに基づいてインテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 の較正用のパラメータを算出し、算出された結果は記憶装置 13 に記憶され、必要に応じてコンソール 14 に出力される。

【0041】なお、着脱型照度計 2 の出力を有線ではなく、図 2 (c) に示すように、無線（コードレス）で照度制御ユニット 12 に送信するようにしてもよい。図 2 (c) は、着脱型照度計 2 から無線で出力信号を送信する例を示し、この図 2 (c) において、着脱型照度計 2 A には光電変換部 25、及び温調素子 20 A の他に、独自の蓄電池及び無線送信機を有する電源部 23 が備えられている。そして、電源部 23 からの電力を用いて、光電変換部 25、及び温調素子 20 A を駆動し、更に無線送信機に接続されたアンテナ 24 から例えば FM 電波を介して光電変換部 25 の出力信号を、無線受信器及びアンテナを備えたセンサ制御装置 3 に供給する構成となっている。

【0042】この場合、温調素子 20 A の底部には、ウ

エハステージ 1 上に容易に設置できるようにマグネットチャックが取り付けられており、ウエハステージ 1 に設けた凸状の押さえガイド 46 に温調装素子 20A の側面を押し当てることで、着脱型照度計 2A の粗い位置決めができるように構成されている。このように着脱型照度計 2A とセンサ制御装置 3、ひいては図 1 の照度制御ユニット 12 とをコードレスで接続することによって、チャンバ 47 内のウエハステージ 1 に対する着脱型照度計 2A の着脱を容易に行うことができる。

【0043】図 1 に戻り、不図示であるが、投影光学系 10 の両側にはウエハ W の Z 方向の位置（焦点位置）を検出するための、送光系及び受光系からなる斜入射方式の焦点位置検出系が備えられている。この焦点位置検出系からのウエハ W の焦点位置に関する情報は主制御装置 50 に供給され、主制御装置 50 はその情報に基づいてウエハステージ 1 を駆動することで、ウエハ W の焦点位置及び傾斜角を制御して、ウエハ W の表面を投影光学系 10 の像面に合わせ込んで露光を行う。

【0044】次に、本例の着脱型照度計 2、インテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 で照度を計測する場合の基本的な動作につき説明する。インテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 の出力を校正する際には、着脱型照度計 2 が使用されるが、そのためには先ず着脱型照度計 2 の位置を正確に求める必要がある。着脱型照度計 2 の位置の計測は以下のように行われる。

【0045】図 3 (a) は、ウエハステージ 1 上での投影光学系 10 による露光フィールド EF を示す正面図、図 3 (b) はその露光フィールド EF を示す拡大平面図であり、図 3 (a) 及び (b) に示すように、露光光 IL が投影光学系 10 のほぼ正方形の露光フィールド EF に照射されている。この露光光 IL が照射された状態で、図 1 の主制御装置 50 はレーザ干渉計 9 の位置情報に基づいて、ウエハステージ 1 を駆動し、図 3 (b) に示すように、着脱型照度計 2 の受光部 19 を露光フィールド EF に対し X 方向及び Y 方向に走査する。そして、そのときに着脱型照度計 2 の受光部 19 に入射した光量を、照度制御ユニット 12 を介して複数の所定の位置でサンプリングする。

【0046】図 3 (c) は、受光部 19 を X 方向に走査する場合のウエハステージ 1 の X 座標とサンプリングされた着脱型照度計 2 の出力信号 I との関係を示し、横軸はウエハステージ 1 の X 座標、縦軸は出力信号 I を表す。この図 3 (c) に示すように、出力信号 I は受光部 19 が露光フィールド EF 内にある範囲で大きく、それ以外では小さい。そこで、例えば出力信号 I の最大値と最小値との間の所定のスライスレベル IA とその出力信号 I とを比較し、出力信号 I がスライスレベル IA を横切るときのウエハステージ 1 の X 座標 X1 及び X2 を求め、更に座標 X1 及び X2 の中点の座標 XS を求める。この座標 XS は着脱型照度計 2 の受光部 19 の中心が投

影光学系 10 の露光フィールド EF の中心（露光中心）にあるときのウエハステージ 1 の座標を示す。

【0047】従って、これによりウエハステージ 1 上に設置された着脱型照度計 2 の投影光学系 10 の露光フィールド EF に対する X 方向の相対位置が求められる。なお、着脱型照度計 2 による照度測定に際しては、上述の斜入射方式の焦点位置検出系により、投影光学系 10 の像面と着脱型照度計 2 の受光部 19 の表面とが一致するようにオートフォーカス制御が行われている。なお、その焦点位置検出系を使用する代わりに、X 方向の相対位置を求めるための図 3 (c) の出力信号を着脱型照度計 2 の受光部 19 の焦点位置を変えて複数回計測し、両側のスロープ部の傾きを算出してもよい。このとき、最もスロープの傾きが高くなる焦点位置を求めることで着脱型照度計 2 の受光部 19 と投影光学系 10 の像面とを一致させることができる。同様に、受光部 19 を露光フィールド EF に対して Y 方向に走査することによって、着脱型照度計 2 の露光フィールド EF に対する Y 方向の相対位置が求められる。また、固定型照度センサ 7 についても、同様にして露光フィールド EF に対する相対位置が求められる。

【0048】次に、着脱型照度計 2、インテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 による照度の計測方法について説明する。図 4 は、図 1 の照明系 17 及び照度センサを示す構成図であり、この図 4 に示すように、本例では照明系 17 内で分離された露光光 IL の一部がインテグレートセンサ 18 で受光されている。この際に、インテグレートセンサ 18 の受光面は、レチクル R のパターン面、ひいては図 1 のウエハ W の表面とほぼ共役となっている。

【0049】この場合、光学部材の配置空間の制約、及び製造コスト等から、インテグレートセンサ 18 への送光部である集光レンズ 43 等は小型化されているため、インテグレートセンサ 18 の受光部をウエハステージ 1 上に投影した共役像 18A は、図 5 (a) に示すように、投影光学系 10 の露光フィールド EF に比較して小さな面積で形成されている。従って、インテグレートセンサ 18 では、その露光フィールド EF 内でその共役像 18A の範囲での照度を間接的に計測できることになる。また、その共役像 18A の中心は、その露光フィールド EF の中心（露光中心）に設定されている。但し、製造コスト等に余裕があれば、共役像 18A を露光フィールド EF より大きくしてもよい。更に、インテグレートセンサ 18 の受光面は必ずしもウエハ W の表面と共役である必要はなく、投影光学系 10 の瞳面（レチクル R に対する光学的フーリエ変換面）と共役であってもよい。

【0050】また、図 5 (a) に示すように、着脱型照度計 2 の受光部 19 はインテグレートセンサ 18 の受光部の共役像 18A よりも更に小さな面積で形成されてい



る。従って、着脱型照度計 2 を用いてインテグレータセンサ 18 の較正を精度よく行うためには、図 4 に示すように、ウエハステージ 1 を駆動して着脱型照度計 2 の受光部 19 を投影光学系 10 の露光フィールド内に移動した後、図 5 (a) の矢印で示すように、着脱型照度計 2 の受光部 19 をその共役像 18 A の内部で移動して、所定の複数の計測位置で着脱型照度計 2 の出力をサンプリングする。そして、その出力の平均値を取ることに  
10 により、インテグレータセンサ 18 の計測フィールド（共役像 18 A の内部領域）での平均的な照度を算出する。この着脱型照度計 2 の計測と同期して、インテグレータセンサ 18 の出力のサンプリングも行つて、平均的な照度を算出する。このような計測方法を用いることにより、インテグレータセンサ 18 の計測フィールドと着脱型照度計 2 の計測範囲とが実質的に一致し、較正の信頼性が高まる利点がある。

【0051】このような計測方法は、固定型照度センサ 7 の計測時においても同様に行われる。即ち、図 4 に  
15 いて、固定型照度センサ 7 で照度を計測する際には、ウエハステージ 1 を駆動することによって、固定型照度センサ 7 の受光部 7 A が投影光学系 10 の露光フィールド内に移動する。図 5 (b) は、固定型照度センサ 7 の受光部 7 A が露光フィールド E F 内に移動した状態を示し、この図 5 (b) に示すように、固定型照度センサ 7 の受光部 7 A の面積は、図 5 (a) の着脱型照度計 2 の受光部 19 の面積より更に小さい。従って、インテグ  
20 レータセンサ 18 の出力と固定型照度センサ 7 の出力との対応関係を求める場合には、図 5 (b) の矢印で示すように、固定型照度センサ 7 の受光部 7 A をインテグレータセンサ 18 の計測フィールド（共役像 18 A の内部領域）内で更にきめ細かく移動し、照度のサンプリングの回数を増やす。これによって、インテグレータセンサ 18 の計測フィールドと固定型照度センサ 7 の計測範囲とが実質的に一致する。なお、着脱型照度計 2 及び固定型照度センサ 7 の受光部の面積、形状を等しくすれば、同じ計測シーケンスでより精度良く照度計測ができることになる。

【0052】インテグレータセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 の出力の較正は、ウエハステージ 1 上に照射される露光光 I L の照度を段階的に変更して行われる。例  
40 えばインテグレータセンサ 18 の較正に際しては、先ず、照明系 17 からの露光光 I L の光量を最大にしてウエハステージ 1 上の照度を計測する。即ち、図 4 において、フライアイレンズ 31 の射出面には図 6 (a) に示す最大の開口を有する第 4 の開口絞り 52 D を配置し、可変視野絞り 28 の開口を最大にして、最大のコヒーレンスファクタ ( $\sigma$  値) のもとでインテグレータセンサ 18、及び着脱型照度計 2 の出力を同時に検出する。次に、 $\sigma$  値を段階的に変更して同様にインテグレータセンサ 18、及び着脱型照度計 2 により照度を計測する。即

ち、近年のフォトリソグラフィ技術では、例えば、図 6 (a) の第 6 の開口絞り 52 F を使用して小さな  $\sigma$  値で照明する小  $\sigma$  照明や、第 3 の開口絞り 52 C のような輪帯状の開口絞りを使用する輪帯照明等が利用される傾向にあり、このような照明条件の変化により較正結果が異なってくることもある。従って、照明条件を変えたときにも同様の較正を行う必要がある。

【0053】図 6 (b) 及び (c) は、それぞれ小  $\sigma$  照明及び通常の照明条件時におけるレチクル R 上での露光光の状態を示し、図 6 (b) 及び (c) に示すように、小  $\sigma$  照明における露光光 I L の開口半角  $\theta'$  は通常の照明条件における露光光 I L の開口半角  $\theta$  に比較して小さい。一般に照度センサ自体の感度も光束の入射角によ  
25 って変化するため、較正の基準となる着脱型照度計 2 の受光部 19 としては、感度変化の小さいものを採用し、インテグレータセンサ 18 としては、温度や露光光の照射によるセンサ特性のドリフトの少ないものを利用することで、較正精度を上げ、且つ較正を行う間隔を延ばすことができる。

【0054】次に、本例の投影露光装置において、着脱型照度計 2 を用いてインテグレータセンサ 18、及び固定型照度センサ 7 の出力を較正する方法の一例について具体的に説明する。先ず、オペレータが図 1 のウエハ  
30 ステージ 1 上に着脱型照度計 2 を取り付け、チャンバ 47 の外面のセンサ制御装置 3 の信号ケーブル 5 を照度制御ユニット 12 に接続する。そして、主制御装置 50 に予めプログラムされた照度較正プログラムを作動させる。照度較正プログラムの起動に伴い、主制御装置 50 の制御のもとで、光源制御ユニット 15 を介して光源部 16 から露光光 I L が射出され、図 3 に基づいて説明した方法により着脱型照度計 2 の受光部 19 の投影光学系 10 の露光フィールド E F に対する相対位置が計測される。

【0055】次に、この計測結果に基づいて、着脱型照度計 2 の受光部 19 の中心を投影光学系 10 の露光中心に位置決めする。本例のようなステッパ型の投影露光装置においては、一定の照度を持つ露光光 I L を用い  
て、光源部 16 のシャッタの開閉を行ってウエハ W 上での露光時間を制御することで露光量を制御する。そこで、投影光学系 10 の露光中心に着脱型照度計 2 の受光部 19 の中心を位置決めした後、光源部 16 のシャッタを開放してインテグレータセンサ 18 に入る光量を連続してモニタし、その光量を積算した積算光量（積算露光量）Q I が所定の値になるようにシャッタを閉じる。そして、シャッタを開放してから閉じるまでの照度をイン  
45 テグレータセンサ 18 及び着脱型照度計 2 により計測する。インテグレータセンサ 18 の計測値は直接照度制御ユニット 12 に供給され、着脱型照度計 2 の照度の計測値はセンサ制御系 3 を介して照度制御ユニット 12 に供給される。照度制御ユニット 12 においては、インテグレータセンサ 18 の積算光量、及び着脱型照度計 2 にお

ける照度積算値  $Q_S$  を求める。このとき求められたインテグレートセンサ 18 による積算光量  $Q_I$ 、及び着脱型照度計 2 による照度積算値  $Q_S$  をそれぞれ  $C_i$ 、及び  $A_i$  とする。そして、露光可能範囲の中で積算露光量を変えながらインテグレートセンサ 18 及び着脱型照度計 2 により同時に照度を検出し、それぞれの積算光量  $C_i$  ( $i = 2, 3, \dots, n$ ) 及び照度積算値  $A_i$  を算出して主制御装置 50 に供給する。この照度検出の際に、図 5 を参照して説明したように、着脱型照度計 2 の受光部 19 をインテグレートセンサ 18 の受光部の共役像 18A 内で移動させてもよい。

【0056】図 7 (a) は、インテグレートセンサ 18

$$P1 = (A_1/C_1 + A_2/C_2 + A_3/C_3 + \dots + A_n/C_n) / n \quad (1)$$

一方、固定型照度センサ 7 の較正用のパラメータは、較正後のインテグレートセンサ 18 を基準の照度センサとして求める。即ち、投影光学系 10 の露光中心に固定型照度センサ 7 の受光部の中心を移動し、上述の着脱型照度計 2 の場合と同様に、インテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 に入射する光量を連続してモニタする。この際にも、固定型照度センサ 7 の受光部をインテグレートセンサ 18 の受光部の共役像内で移動させてもよい。ここで計測されたインテグレートセンサ 18 の積算光量  $Q_I$  の値を  $C_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )、及び対応

$$P2 = (B_1/C_1 + B_2/C_2 + B_3/C_3 + \dots + B_n/C_n) / n \quad (2)$$

このように露光光の照度が一定であるステッパ型の投影露光装置の場合は、較正パラメータ  $P1$ 、 $P2$  が容易に求められて記憶装置 13 に記憶される。そして、記憶されている較正パラメータ  $P1$  及び  $P2$  をそれぞれインテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 の実際の計測値に乗ずることで較正が行われる。即ち、インテグレートセンサ 18 の計測値に較正パラメータ  $P1$  を乗ずることで、ウエハステージ 1 上で着脱型照度計 2 を用いて計測した場合に換算した照度が求められる。同様に、固定型照度センサ 7 の計測値に較正パラメータ  $P2$  を乗ずることで、インテグレートセンサ 18 で計測した場合に換算した照度が求められる。更に、2 つの較正パラメータ  $P1$  及び  $P2$  の積  $P1 \cdot P2$  を新たに固定型照度センサ 7 の較正パラメータとしてもよい。この場合、固定型照度センサ 7 の計測値に較正パラメータ  $P1 \cdot P2$  を乗ずることで、ウエハステージ 1 上で着脱型照度計 2 を用いて計測した場合に換算した照度が求められる。

【0059】また、上述のように較正パラメータ  $P1$  を求める際に、本例では着脱型照度計 2 の出力信号はセンサ制御装置 3、及び信号ライン 5 等を介して直接照度制御ユニット 12 に供給されており、インテグレートセンサ 18 の出力信号も直接照度制御ユニット 12 に供給されている。従って、水銀ランプのアーカ揺らぎ等によって光源部 16 からの露光光  $I_L$  の出力に時間変動があっても、インテグレートセンサ 18 及び着脱型照度計 2 の出力信号は同じタイミングで取り込むことができるた

における積算光量  $Q_I$  と着脱型照度計 2 における照度積算値  $Q_S$  との関係を示し、この図 7 (a) の実線の直線 54 で示すように、インテグレートセンサ 18 における積算光量  $Q_S$  の実測値  $C_1, C_2, \dots, C_n$  と、着脱型照度計 2 における照度積算値  $Q_S$  の実測値  $A_1, A_2, \dots, A_n$  との関係はほぼオフセットの無い線形となる。主制御装置 50 では、このときの着脱型照度計 2 の出力に対するインテグレートセンサ 18 の出力の比の値の平均値 (以下、「インテグレートセンサ 18 の較正パラメータ」と呼ぶ)  $P1$  を、次式より求める。

【0057】

して計測される固定型照度センサ 7 の照度積算値  $Q_S$  の値を  $B_i$  とすれば、積算光量  $C_i$  及び照度積算値  $B_i$  の間にも、図 7 (a) の点線の曲線 54A で示すようなほぼオフセットの無い線形の関係がある。主制御装置 50 では、このときのインテグレートセンサ 18 の出力に対する固定型照度センサ 7 の出力の比の値の平均値 (以下、「固定型照度センサ 7 の較正パラメータ」と呼ぶ)  $P2$  を、次式より求める。

【0058】

め、両者の出力の比の値、即ち較正パラメータ  $P1$  を正確に求めることができ、インテグレートセンサ 18 の較正を高精度に行うことができる。また、較正パラメータ  $P1 \cdot P2$  を使用する場合には、固定型照度センサ 7 を着脱型照度計 2 に対して高精度に較正することができる。更に、本例では着脱型照度計 2、インテグレートセンサ 18、及び固定型照度センサ 7 の計測値は共通に照度制御ユニット 12 で取り込まれているため、(1) 式及び (2) 式等の演算処理を高速に行うことができる。

【0060】次に、本例の投影露光装置はステッパ型であるが、図 1 の投影露光装置がステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型であるとした場合に、着脱型照度計 2 を用いて、インテグレートセンサ 18 及び固定型照度センサ 7 の出力を較正する方法について説明する。走査露光型の投影露光装置においては、露光時には光源部 16 からの露光光  $I_L$  はレチクル R 上のスリット状の照明領域に照射される。そして、レチクル R 上のスリット状の照明領域内のパターンが投影光学系 10 を介してウエハ W 上に投影された状態で、レチクル R とウエハ W とを投影光学系 10 に対して同期走査することにより、レチクル R のパターン像がウエハ W 上の露光対象のショット領域に逐次転写される。このように走査露光型では、連続的に露光が行われるため、インテグレートセンサ 18 の出力値の積算光量をモニタする代わりに、インテグレートセンサ 18 で計測される露光光の照度が常に所定の目標値に対して許容範囲内にあるかどうか

モニタされる。この場合、ウエハW上のフォトリジストの感度（適正露光量）をE、ウエハステージ1の走査速度をV、スリット状の照明領域をウエハW上に投影した露光領域の走査方向の幅（スリット幅）をL、ウエハW上での露光光ILの照度をSとすると、次の関係が成立する。

$$【0061】 E/S = L/V \quad (3)$$

露光工程のスループットを低下させないためには、できるだけ最高速度でウエハWを走査することが望ましい。そのため、走査速度Vは通常は最高速度付近に設定されている。また、スリット幅Lは最大幅付近に設定されているとすると、(3)式の右辺はほぼ一定である。従って、ウエハW上のレイヤ等に応じて、フォトリジストの感度Eが異なる場合には、(3)式を満たすために、その感度Eに対応して露光光ILの照度Sを変える必要がある。そのように照度Sを変える際には、例えば光源部16内に露光光の光量を段階的、及び所定範囲内で連続的に可変できる減光機構を設けるか、又は光源部16内の露光光源の駆動電力を制御する可変電源を設け、これらの減光機構、又は可変電源を用いている。このように、露光光ILの照度Sを変化させた場合には、着脱型照度計2の出力に対するインテグレートセンサ18の出力の関係が微妙に変化する恐れがある。

【0062】そこで、走査露光型の投影露光装置では、減光機構、又は可変電源を介して露光光ILの照度Sを変化させながら、インテグレートセンサ18及び着脱型照度計2により露光光ILの照度を計測する。このときインテグレートセンサ18で計測された照度LIを、 $c_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) とする。また、同時に着脱型照度計2で計測された照度LSを $a_i$  とする。

【0063】図7(b)は、着脱型照度計2で計測された照度LSとインテグレートセンサ18で計測された照度LIとの関係を示し、照度LSと照度LIとの線形性が良好であるときには、この図7(b)の実線の直線55で示すように、インテグレートセンサ18における照度LIの実測値 $c_1, c_2, \dots, c_n$ と、着脱型照度計2における照度LSの実測値 $a_1, a_2, \dots, a_n$ との関係はほぼオフセットの無い直線となる。この際には、得られた照度の実測値の比の値 $a_i/c_i$ の平均値を校正パラメータとすることができる。しかしながら、それら2つの照度の間の線形性が悪い場合には、ステッパ型の投影露光装置のように1つの校正パラメータP1を決定し、それに基づいて校正すると照度の測定誤差が大きくなる。

【0064】そこで、走査露光型で2つの照度間の線形性が悪い場合には、着脱型照度計2の照度LSの実測値 $a_i$ に対するインテグレートセンサ18の照度LIの実測値 $c_i$ の比の値 $a_1/c_1, a_2/c_2, a_3/c_3, \dots, a_n/c_n$ を算出し、得られた値 $a_i/c_i$ を曲線近似する。即ち、一例として主制御装置50では、得られた値 $a_i/c_i$ を最小自乗法等によって、インテグレートセンサ18で

計測される照度LIに関するm次（mは2以上の整数）の関数 $f(LI)$ で近似し、この関数 $f(LI)$ の各次数の係数を求めて校正パラメータとして記憶装置13に記憶する。これによって、着脱型照度計2で計測される照度LSは次式で表される。

$$【0065】 LS = f(LI) \cdot LI \quad (4)$$

その後、露光時にインテグレートセンサ18で計測された照度LIに対して、その関数 $f(LI)$ を乗算することで、ウエハステージ1上で着脱型照度計2を用いて計測される照度LSに換算された照度が得られる。なお、そのように曲線近似をする代わりに、得られた照度の比の値 $a_i/c_i$ を照度LIに関するテーブルとして記憶してもよい。この際に、例えばインテグレートセンサ18の照度の実測値 $c_1 \sim c_{i-1}$ の間では、比例配分によって比の値 $LS/LI$ を計算し、この値でインテグレートセンサ18の出力を校正するようにしてもよい。

【0066】また、走査露光型の場合も、固定型照度センサ7の校正用のパラメータは、校正後のインテグレートセンサ18を用いて求めることができる。即ち、露光光の照度を変えながら計測されたインテグレートセンサ18の照度LIの実測値 $c_i$ 、及び対応して計測される固定型照度センサ7の照度（これを $LS'$ で表す）の実測値 $b_i$ を用いると、両者の線形性が良好であれば、実測値 $c_i$ 及び $b_i$ の間にも、図7(b)の点線の曲線55Aで示すようなほぼオフセットの無い線形の関係があるため、それらの実測値の比の値 $c_i/b_i$ の平均値を校正パラメータとすることができる。しかしながら、両者の線形性が悪いときには、その値 $c_i/b_i$ を固定型照度センサ7の照度 $LS'$ の高次の関数 $g(LS')$ で近似するか、又はテーブル化すればよい。

【0067】このように校正パラメータを算出することで、走査露光型の場合にも、インテグレートセンサ18及び着脱型照度計2の出力の校正を高精度に行うことができる。また、インテグレートセンサ18及び着脱型照度計2の出力信号は同じタイミングで取り込むことができるため、校正パラメータを正確に求めることができ、インテグレートセンサ18、ひいては固定型照度センサ7の校正を高精度に行うことができる。

【0068】なお、ステッパ型の投影露光装置の場合でも、露光光の照度を変更するときには、インテグレートセンサ18の出力と着脱型照度計2の出力との関係を2次以上の関数で近似して、その関数の各次数の係数を校正パラメータとして記憶してもよい。固定型照度センサ7についても同様である。次に、本発明の第2の実施の形態につき図8及び図9を参照して説明する。本例は、パルス光源を露光光源として使用するステッパ型の投影露光装置に本発明を適用したものであり、図8において図1及び図4に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

【0069】図8は、本例の投影露光装置を示す概略構

成図であり、この図 8 の光源部 1 6 A において、パルス発光の露光光源として A r F エキシマレーザ光源、又は K r F エキシマレーザ光源等からなるエキシマレーザ光源 4 0 が使用されている。エキシマレーザ光源 4 0 の発光動作は、光源制御ユニット 1 5 A 内のレーザ制御装置 4 1 を介して主制御装置 5 0 により制御されており、主制御装置 5 0 によりエキシマレーザ光源 4 0 のパルス発光のタイミング、発振周波数、及び出力の微小制御等が行われている。

【0070】エキシマレーザ光源 4 0 から射出されたレーザ光である露光光 I L A は、ビームエキスパンダ 3 9、それぞれ種々の透過率の ND フィルタ板を周囲に配列してなる 1 対の可変 ND フィルタ 3 8 A、3 8 B を通過する。駆動部 3 8 C を介して可変 ND フィルタ 3 8 A、3 8 B の ND フィルタの組み合わせを調整することによって、露光光 I L A に対する減光率を多段階に亘って変更できる。駆動部 3 8 C の動作は、主制御装置 5 0 が光源制御ユニット 1 5 A 内の減光部制御系 4 2 を介して制御できるように構成されている。可変 ND フィルタ 3 8 A、3 8 B を通過した露光光 I L A は照明系 1 7 A に入射して、第 1 のフライアイレンズ 3 7、リレーレンズ 3 6、スペックル除去用の振動ミラー 3 5、及び第 2 のフライアイレンズ 3 1 を経て、ビームスプリッタ 3 3 に入射する。

【0071】このビームスプリッタ 3 3 で分離された露光光 I L A の一部が、集光レンズ 4 3 を介してインテグレートセンサ 1 8 に入射する。一方、ビームスプリッタ 3 3 を透過した露光光 I L A は、可変視野絞りやコンデンサレンズ等を含む光学系 3 4 を経てレチクル R を照明する。そして、照度の計測時には、レチクル R を透過した露光光 I L A が、投影光学系 1 0 を介してウエハステージ 1 上に取り付けられた着脱型照度計 2 に入射する。着脱型照度計 2 の出力は、信号ライン 4、5、センサ制御装置 3、及び不図示のコネクタを介してオンラインで照度制御ユニット 1 2 に供給されている。ウエハステージ 1 上には固定型照度センサ 7 も固定され、インテグレートセンサ 1 8 及び固定型照度センサ 7 の出力は照度制御ユニット 1 2 に供給されている。この他の構成は図 1 の投影露光装置と同様である。

【0072】この場合、エキシマレーザ光源は 1 パルス毎の照度（パルスエネルギー）が不安定なので、ウエハ上の各点に対する露光時には、それぞれ例えば数 1 0 パルスの露光光が照射されるようにして、平均化効果により照度均一性を維持している。即ち、図 8 の投影露光装置においては、ウエハ上の各点に対する露光光 I L A の最低パルス数が決められている。例えばエキシマレーザ光源 4 0 の発振周波数を 5 0 0 H z、1 パルス毎の照度のランダムなばらつきを 5 %、露光パルス数を 5 0 パルスとした場合、5 0 パルス露光後のウエハ上での積算露光量のばらつきは、約 0. 7 % となり、露光時間は 0.

1 秒となる。

【0073】また、本例では減光部としての可変 ND フィルタ 3 8 A、3 8 B の組み合わせによって露光光 I L A の照度を段階的に変更でき、且つレーザ制御装置 4 1 を介してエキシマレーザ光源 4 0 の出力を或る程度連続的に変更できるように構成されている。そこで、本例のようなパルス光源を使用するステッパ型の投影露光装置では、シャッタによる露光量の制御を行わず、エキシマレーザ光源 4 0 を所定期間だけパルス発光させると共に、ウエハに対する積算露光量の制御を行うために、露光光 I L A の照度を連続的に変化させる方法が考えられる。即ち、ウエハ上のフォトレジストの感度を E、ウエハ上における露光光 I L A の 1 パルスのエネルギーを p、露光パルス数を n とすると、次の関係が成立する。

$$【0074】E = n p \quad (5)$$

そこで、フォトレジストの感度 E が変わったときには、可変 ND フィルタ 3 8 A、3 8 B の透過率の組み合わせにより、段階的に光量を変化させ、レーザ制御装置 4 1 によりエキシマレーザ光源 4 0 の出力を微調整することで、露光光 I L A の 1 パルスのエネルギー p を連続的に制御する。露光に際しては、この 1 パルス毎のエネルギー p をインテグレートセンサ 1 8 により計測し、それに基づいてエキシマレーザ光源 4 0 や可変 ND フィルタ 3 8 A、3 8 B を制御する。

【0075】次に、本例において、着脱型照度計 2 を使用してインテグレートセンサ 1 8 の出力を較正する方法について具体的に説明する。先ず、着脱型照度計 2 の受光部をインテグレートセンサ 1 8 の受光部の共役像内に移動して、1 パルスのエネルギー p を任意に設定し、エキシマレーザ光源 4 0 をパルス発光させる。図 9 (a) は、エキシマレーザ光源 4 0 におけるパルス発光のタイミングを示し、横軸は時間 t、縦軸はパルス発光時にハイレベル” 1 ”となるフラグ F A を示す。この図 9 (a) に示すように、先ず時刻 t S 以降の所定期間 T D だけ計測を行うことなくダミーでパルス発光させた後、時刻 t 1 と t 2 との間の計測期間 T M 内で計測のための n 回のパルス発光を実施する。

【0076】図 9 (b) は、インテグレートセンサ 1 8 で計測を行う期間だけハイレベル” 1 ”となるフラグ F B を示し、図 9 (c) は着脱型照度計 2 で計測を行う期間だけハイレベル” 1 ”となるフラグ F C を示し、フラグ F B 及び F C で示すように、インテグレートセンサ 1 8 及び着脱型照度計 2 では時刻 t 1 と t 2 との間で同時に計測が行われる。この際に、照度制御ユニット 1 2 では、各パルス発光毎にインテグレートセンサ 1 8 の出力のピークホールド値を取り込み、センサ制御装置 3 では、各パルス発光毎に着脱型照度計 2 の出力のピークホールド値を A / D 変換して照度制御ユニット 1 2 に供給する。このようにして計測される値をも便宜上、各パルス光の照度と呼ぶ。

【0077】この場合、インテグレートセンサ18及び着脱型照度計2により計測された1パルス毎の照度をそれぞれ $d_i, e_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) とする。照度 $d_i$ と $e_i$ との関係が線形に近い状態であれば、上記

(1) 式のような方法で一定の校正パラメータを求めて記憶する。一方、照度 $d_i$ と $e_i$ との関係が非線形の場合には、照度 $d_i$ と $e_i$ との関係を最小自乗法等の方法により2次以上の関数の形で求め、この関数を校正パラメータとして記憶する。または、照度 $d_i$ と $e_i$ との関係をテーブル化して記憶してもよい。

【0078】次に、校正されたインテグレートセンサ18を基準の照度センサとして固定型照度センサ7の校正パラメータを求める。即ち、インテグレートセンサ18の受光部の共役像内に固定型照度センサ7の受光部を移動し、上述の着脱型照度計2の場合と同様に、エキシマレーザ光源40をパルス発光させながら、インテグレートセンサ18及び固定型照度センサ7により照度を計測する。ここで計測されたインテグレートセンサ18及び固定型照度センサ7のそれぞれの照度を $d_i, f_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) とする。照度 $d_i$ と $f_i$ との関係が線形に近い状態であれば上記(2)式のような方法で一定の校正パラメータを求める。照度 $d_i$ と $f_i$ との関係が非線形の場合には、照度 $d_i$ と $f_i$ との関係を関数、又はテーブルの形で求める。実際の露光時にはこのようにして求めた校正パラメータをそれぞれインテグレートセンサ18及び固定型照度センサ7の計測値に乘じることにより、校正された照度が検出される。

【0079】本例でも、着脱型照度計2の出力はオンラインで照度制御ユニット12に供給されているため、光源部16Aからの露光光ILLAの出力が時間的に変動しても、着脱型照度計2に対するインテグレートセンサ18及び固定型照度センサ7の校正を高精度に行うことができる。また、着脱型照度計2、及びインテグレートセンサ18等の計測値が共通に照度制御ユニット12に取り込まれているため、校正パラメータを求めるための演算処理を高速に行うことができる。

【0080】次に、上述の実施の形態で使用されている着脱型照度計2の管理方法の一例につき図10及び図11を参照して説明する。図1の着脱型照度計2は、マッチングを行うべき複数台(例えば10数台)の露光装置に対して基準の照度センサとして使用される。即ち、照度校正が必要な露光装置に着脱型照度計2を取り付け、照度の校正作業が終了した後、その着脱型照度計2をその露光装置から取り外して他の露光装置の校正に使用するという作業が繰り返される。そして、着脱型照度計2により照度が校正された例えば図1の投影露光装置では、その後は、その投影露光装置のインテグレートセンサ18自体が基準の照度計となる。しかしながら、インテグレートセンサ18は露光光に常時照射されるため、その感度特性が経時的に変化していく。例えば感度特性

が3～6カ月程度の間安定してドリフトが生じなければ、その期間内ではそのままインテグレートセンサ18を基準の照度センサとして使用してもよいが、それ以上の期間を経過した場合は、着脱型照度計2のように適切に保管された基準となる照度センサ(基準照度センサ)により、インテグレートセンサ18の校正をやり直すことが望ましい。

【0081】この場合、1台の基準照度センサだけで照度を管理するのはマッチングさせる露光装置の台数が多くなると物理的に困難であり、且つその基準照度センサが故障する恐れもある。そこで、複数の基準照度センサを保有し、例えば1～3台程度の基準照度センサを親機として、その親機によりそれぞれ校正された複数の子機と、それら複数の子機によりそれぞれ校正された複数の孫機とを備えるような階層構造による管理体制が望ましい。

【0082】図10(a)は、基準照度センサの管理体制の一例を示し、この図10(a)において、1台の親機A1に対して3台の子機B1～B3が校正され、それぞれの子機B1～B3に対して複数の孫機C1～Cn, D1～Dj, E1～Emが校正される。親機A1、子機B1～B3、及び孫機C1～Cn等として、図1の着脱型照度計2と同様の基準照度センサが使用される。このような基準照度センサの管理体制を取ることで、多数の露光装置の照度センサの校正を適正に行うことができる。親機A1は、全ての基準照度センサの基準となるため、入射光量に対する感度特性の直線性、及び安定性等に特に優れたものが望ましい。そして、例えば親機A1に対して子機B1～B3の出力の校正を行う際には、例えば実際に露光光の照度を交互に親機A1、及び子機B1～B3で計測するか、又は露光光を2分割して親機A1、及び子機B1～B3で同時に照度を計測し、計測値の比の値が求められる。

【0083】図10(b)は、親機A1の計測値と子機B1～B3の計測値との線形性が良好である場合を示し、この図10(b)の横軸はそれらの基準照度センサに入射する露光光の光量(照度) $x$ 、縦軸は親機A1の計測値に対する子機B1～B3の計測値の比の値(計測比) $y$ である。この場合には、直線56で示すように、光量 $x$ と計測比 $y$ とは、係数 $a$ 及び $b$ を用いて( $y = ax + b$ )の一次関数で表される。従って、子機B1～B3には、その係数 $a$ 及び $b$ を記憶しておく記憶部を設け、実際の照度の計測時にはこの係数 $a$ 及び $b$ を図1のセンサ制御装置3に供給し、センサ制御装置3で子機B1～B3の計測値を校正してもよい。

【0084】また、親機A1の計測値と子機B1～B3の計測値との関係が非線形である場合には、光量 $x$ に対する計測比 $y$ の関係は、図10(c)の曲線57で示すように、高次の関数( $y = f(x)$ )で表される。この際には、関数 $f(x)$ の係数を子機B1～B3の記憶部

に記憶させておくか、又は光量  $x$  と計測比  $y$  との関係をテーブル化したデータをその記憶部に記憶させておいて、実際の照度の計測時に較正を行えば良い。このように計測比  $y$  を求める際には、図 7 (b) で説明したような演算を利用してもよい。

【0085】次に、例えば図 10 (a) の子機 B1 に対して孫機 C1 ~ Cn の出力の較正を行う際には、両者の計測比を求め、この計測比を示す係数や関数を孫機 C1 ~ Cn の記憶部に記憶させておけばよい。同様に、他の子機 B2, B3 に対しても、それぞれ対応する下位の孫機の出力の較正が行われる。ここで、これらの基準照度センサ間の較正方法について具体的に説明する。一例として、親機 A1 に対して図 1 の着脱型照度計 2 の出力を較正する場合について説明する。この較正方法として、インテグレートセンサ 18 の位置で 2 つの基準照度センサの照度を計測する方法と、ウェハステージ 1 上で 2 つの基準照度センサの照度を計測する方法との 2 通りの方法がある。このため、2 つの基準照度センサを収容し、露光光を 2 つに分割するビームスプリッタを備えた特別の較正用治具が使用される。

【0086】図 11 (a) は、図 4 のインテグレートセンサ 18 の位置で 2 つの基準照度センサで照度を計測するための較正用治具 44 の断面図を示し、較正を行う場合には、図 4 のインテグレートセンサ 18 及び集光レンズ 43 を取り外し、その代わりに較正用治具 44 を配置する。図 4 の照明系 17 内のビームスプリッタ 33 で分離された露光光は、図 11 (a) の較正用治具 44 内の集光レンズ 43A を介してビームスプリッタ 58 に入射し、入射した露光光 IL はビームスプリッタ 58 により 2 つの光束に分割される。較正用治具 44 内で、ビームスプリッタ 58 の 2 つの射出面に対向するように親機 A1 及び着脱型照度計 2 が固定されている。そして、ビームスプリッタ 58 を透過した光束は親機 A1 に入射し、ビームスプリッタ 58 により反射された光束は着脱型照度計 2 に入射する。親機 A1 及び着脱型照度計 2 からの出力信号は信号処理系 59 に送られ、信号処理系 59 内で例えば図 7 (b) に基づいて説明した方法と同様に、親機 A1 で計測される照度に対する着脱型照度計 2 で計

#### A. 着脱型照度計 2

- (a) 計測再現性 :  $\pm 0.07$  [%] (二乗和)
- (b) 測定直線性 (ソフト補正後) :  $\pm 0.07$  [%] (単純和)
- (c) 角度特性機差 :  $\pm 0.1$  [%] (単純和)
- (d) 安定性 (総合照射時間 24 時間) :  $\pm 0.25$  [%] (単純和)

#### B. インテグレートセンサ 18

- (a) 計測再現性 :  $\pm 0.05$  [%] (二乗和)
- (b) 測定直線性 (ソフト補正後) :  $\pm 0.05$  [%] (単純和)
- (c) 角度特性機差 :  $\pm 0.1$  [%] (単純和)
- (d) 安定性 (総合照射時間 24 時間) :  $\pm 0.25$  [%] (単純和)

【0091】以上の項目の内、測定直線性とは入射光量に対する出力の線形性を示し、角度特性機差とは露光光

測される照度の比の値 (較正パラメータ)、又はその比の値を示す関数やテーブルが求められる。そのように求められた較正パラメータ又は関数等はホストコンピュータ 60 に送られ、そこで記憶されると共に、着脱型照度計 2 内の記憶部にも記憶される。

【0087】図 11 (b) は、ウェハステージ 1 上で親機 A1 により着脱型照度計 2 を較正するための較正用治具 45 の断面図を示し、この図 11 (b) に示すように較正用部材 45 をウェハステージ 1 の上面の外縁部に固定する。較正用治具 45 内には、投影光学系 10 からの露光光 IL を平行光束にするリレーレンズ 61、ビームスプリッタ 62、及びビームスプリッタ 62 からの光束を集光するリレーレンズ 63A, 63B が備えられ、リレーレンズ 63A, 63B に対向するように親機 A1 及び着脱型照度計 2 が固定されている。較正の際はウェハステージ 1 を駆動して投影光学系 10 の露光中心にリレーレンズ 61, 63A の光軸を一致させる。

【0088】投影光学系 10 からの露光光 IL は、リレーレンズ 61 を介して平行光束となり、ビームスプリッタ 62 に入射し、ビームスプリッタ 62 により 2 つの光束に分割される。ビームスプリッタ 62 を透過した光束はリレーレンズ 63A を介して親機 A1 に入射し、ビームスプリッタ 62 により反射された光束はリレーレンズ 63B を介して着脱型照度計 2 に入射する。親機 A1 及び着脱型照度計 2 からの出力信号は信号処理系 59 に送られ、信号処理系 59 において、図 7 に基づいて説明した方法と同様に、着脱型照度計 2 の較正パラメータ又は較正用の関数等が求められる。そのように求められた較正パラメータ又は関数等はホストコンピュータ 60 で記憶されると共に、着脱型照度計 2 の記憶部にも記憶される。

【0089】以上のような方法で較正された基準照度センサにより各露光装置間の照度のマッチングが計られるが、マッチング精度として例えば 1.4 % 以下の精度を満たすために、着脱型照度計 2 及びインテグレートセンサ 18 の計測特性が以下の許容値を満たすように設定されている。

#### 【0090】

の開き角 (コヒーレンスファクタ) が異なる場合の出力変化のばらつきを示す。なお、各露光装置におけるイン

テグレートセンサ 1 8 及び固定型照度センサ 7 に対する較正は、以上のような着脱型照度計 2 を使用して、露光光源（水銀ランプ等）の交換毎に行われ、計測に要する時間は 0. 2 時間、1 台の着脱型照度計 2 により管理する露光装置の数は 2 0 台、着脱型照度計 2 自体の較正間隔は 6 ヶ月となっている。

【0 0 9 2】例えば、本例のインテグレートセンサ 1 8 で計測される照度の露光装置間でのマッチング精度 MS を計算してみると、基準となる着脱型照度計 2 が例えば

$$MS = (0.07^2 \times 2 + 0.05^2)^{1/2} + 0.07 \times 2 + 0.05 + 0.1 \times 3 + 0.25 \times 3 \approx 1.35 \quad (\%)$$

従って、マッチング精度 MS の値は許容範囲の 1. 4 % より小さくなり、高いマッチング精度で照度が計測される。

【0 0 9 3】なお、以上の各基準照度センサは親機も含めて絶対光量を計測するためのセンサではなく、親機を最上位の基準、即ち親機で計測される照度を一種の絶対光量基準とみなして相対的な光量を計測するセンサである。絶対光量による管理が望ましいが、例えば水銀ランプの i 線等を露光光とする場合には、照明輝度が高く平行光線を作り難いため、現状技術では絶対光量管理は難しい。また、上記の計測特性には角度特性機差が記載されているが、小さな角度特性機差を要求する理由は次の C 1 及び C 2 の通りである。

【0 0 9 4】C 1. 着脱型照度計 2 やインテグレートセンサ 1 8 のような照度センサの角度特性に基づく誤差には 2 種類の誤差がある。第 1 の誤差は、照度センサの受光フィールドより照明フィールドが大きい場合にランバートの法則によって、入射角の余弦 (cos) に比例して原理的に発生する誤差である。但し、照度センサの受光面が結像位置にある場合は問題とはならないが、その受光面がデフォーカスしている場合には「けられ」等の誤差となってしまう。この誤差を「受光フィールド特性による誤差」と称する。

【0 0 9 5】第 2 の誤差は、照度センサの検出面上のコーティング等で発生する、露光光の入射角に依存した感度変化による誤差である。これを「ディテクタ角度特性による誤差」と称する。このように、照度センサの違いにより角度特性が異なる、即ち角度特性機差があると、変形照明等により露光光の入射角が変化した場合に、相対光量の正確な比較ができない。但し、適正露光量（ドーズ）の設定に際しては、フォトレジストの特性も大きな要因となる上に、通常照明の場合と変形照明の場合とでは別々にドーズの設定が行われるので、インテグレートセンサに関しては、絶対的な角度特性は必要ない。但し、複数の露光装置に対する照度のマッチングを考えた

場合、角度特性機差は大きな測定誤差の要因となる。従って、着脱型照度計 2 及びインテグレートセンサ 1 8 の角度特性機差を小さくする必要がある。以上の点から、上記の角度特性機差の値は、輪帯照明を使用し、且つ照明系の開口絞りとして開口の外径に対して 2 / 3 の大きさの遮光部を備えた輪帯を使用するという最も厳しい照明条件を想定して設定されている。

【0 0 9 6】C 2. 固定型照度センサ 7 の場合は、一例として露光フィールド内の相対的な照度むらを計測するため、像高に依存した  $\sigma$  値（開口数）の差が存在する場合、ディテクタ角度特性による誤差が大きいときには、これらの  $\sigma$  値の差が検出できず、そのために線幅誤差が発生する。一方、ディテクタ角度特性による誤差が小さい場合には、線幅誤差を全て  $\sigma$  値の差として管理することが可能となる。

【0 0 9 7】なお、上述の実施の形態では、基準照度センサについては、ステッパ型の露光装置と走査露光型の投影露光装置とに関し別々に検討しているが、同じ露光光源を用いている場合は、方式が異なる露光装置間でもマッチングを取る必要がある。そのため、ステッパ型の露光装置及び走査露光型の露光装置に対して共にマッチングが取れるように、着脱型照度計 2 は図 7 (a) 及び (b) の両方の較正方法に対応できるようになっている。この場合、露光装置により露光フィールドの形状が異なるので、着脱型照度計 2 の受光部の形状を共通化するか、着脱型照度計 2 の受光部（プローブ部）のみ取り替え可能に構成することが望ましい。

【0 0 9 8】上述のように、上述の実施の形態によれば、複数の基準照度センサ（着脱型照度計 2）が、親機、子機、及び孫機として階層構造で管理されており、親機を除く基準照度センサは、それぞれ上位の基準照度センサに対する較正パラメータ又は較正関係式を記憶している。従って、下位の基準照度センサはすべて 1 つの親機を基準として相対照度を計測する結果となり、多数の露光装置を使用する場合でも露光装置間での照度の計測値のマッチング精度が向上する。また、仮に或る基準照度センサが故障しても、他の基準照度センサで代用することができる。

【0 0 9 9】なお、上述の実施の形態では、着脱型照度計 2 はオペレータによりウエハステージ 1 上に着脱されるが、着脱型照度計 2 を搬送する搬送装置を設置し、ウエハステージ 1 を待避させて同搬送装置により着脱型照度計 2 を投影光学系 1 0 の露光中心等に移動して照度を計測するようにしてもよい。また、着脱型照度計 2 をウエハを搬送するためのスライドにより投影光学系 1 0 とウエハ W との間に配置するような構成にしてもよい。これらの方法では、オペレータはチャンバ 4 7 内に入る必要が無く、照度センサの較正作業をより迅速に行うことができる。

【0 1 0 0】このように、本発明は上述実施の形態に限

定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

#### 【0101】

【発明の効果】本発明の第1の露光装置によれば、着脱型の照度センサの計測データを取り込むインタフェース装置が設けられ、露光量制御手段で常設の照度センサの出力の着脱型の照度センサの出力に対する関係が求められて記憶される。そのインタフェース装置によって、両照度センサの計測データはほぼ同時に取り込まれるため、露光光源の出力にアーク揺らぎやパルスエネルギーのばらつきによる時間変動があっても、両照度センサの出力の比が正確に求められ、常設の照度センサの較正を高精度に行うことができる利点がある。

【0102】この際に、両照度センサの計測データはその露光量制御手段で共通に処理されているため、計測データの処理を高速に行うことができる。また、オペレータの介入等に起因する入力の間違いが発生しない。また、その常設の照度センサが、照明光から分離された光束の照度を検出することによって基板ステージ上での照明光の照度を間接的に計測する間接型の照度センサ（例えばインテグレートセンサ）であり、その露光量制御手段が、そのインタフェース装置を介してその着脱型の照度センサの計測データを取り込むのに同期してその常設の照度センサの計測データを取り込む場合には、2つの照度センサの計測データが同じタイミングで取り込まれるため、露光光源の出力変動がある場合のその常設の照度センサの較正精度を高めることができる。

【0103】また、その露光用の照明光が、パルス発光される照明光であり、その露光量制御手段が、露光用の照明光のパルス発光に同期してそのインタフェース装置を介してその着脱型の照度センサの計測データを取り込む場合には、パルス発光による照明光の照度がオンラインで同期して計測されるため、その着脱型の照度センサ及びその常設の照度センサの計測タイミングがずれることなく照度が正確に計測され、その常設の照度センサの出力の較正を高精度に行うことができる利点がある。

【0104】また、そのインタフェース装置が、コードレス方式でその着脱型の照度センサの計測データをその露光量制御手段に供給する場合には、その着脱型の照度センサをその基板ステージ上に着脱する際の作業が容易になる利点がある。また、本発明の第2の露光装置によれば、多数の露光装置の照度較正を行う場合に、第2の着脱型の照度センサを親機として第1の着脱型の照度センサを子機として、子機の出力の較正を高精度に行うことができる。従って、多数の露光装置間での照度のマッチング精度が向上する利点がある。また、親機に対して複数の子機を設け、更に子機に対してそれぞれ複数の孫機を設けることによって、更に多くの露光装置間の照度のマッチング精度を向上でき、且つ或る着脱型の照度センサが故障した場合等でも、他の着脱型の照度センサで

代用できる。

【0105】また、本発明の第3の露光装置によれば、基板ステージ上において分割光学系により分割された照明光の照度を第1及び第2の着脱型の照度センサにより計測して、その第1の着脱型の照度センサの較正を行うことができるため、照明光の揺らぎや途中の光学系等による影響がなく、その第1の照度センサが高精度に較正される利点がある。従って、露光装置間のマッチング精度が向上する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による露光装置の第1の実施の形態を示す概略構成図である。

【図2】（a）は図1の着脱型照度計2をウエハステージ1上に取り付けた状態を示す拡大図、（b）は図2（a）の平面図、（c）はコードレス方式の着脱型照度計2Aを示す拡大図である。

【図3】図1の着脱型照度計2の位置を求める方法を説明するための図である。

【図4】図1の照明系17の詳細を示す構成図である。

【図5】（a）は図1の着脱型照度計2により露光フィールド内の照度を計測する方法を示す平面図、（b）は図1の固定型照度センサ7により露光フィールド内の照度を計測する方法を示す平面図である。

【図6】（a）は図4の投影露光装置の照明系17内のフライアイレンズの射出面に設けられる開口絞りの例を示す平面図、（b）はそれぞれ小さい開口角の露光光がレチクルRに入射する状態を示す図、（c）は大きい開口角の露光光がレチクルRに入射する状態を示す図である。

【図7】（a）はステッパ型投影露光装置における較正パラメータの算出方法の説明図、（b）は走査露光型の投影露光装置における較正パラメータの算出方法の説明図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態の投影露光装置を示す概略構成図である。

【図9】図8のエキシマレーザ光源を使用した場合のパルス発光のタイミング、及びその際のインテグレートセンサ等の計測のタイミングを示す図である。

【図10】（a）は本発明の実施の形態において基準照度センサの管理のための階層構造を示す図、（b）は図10（a）の基準照度センサ間における較正のための線形関数を示す図、（c）は図10（a）の基準照度センサ間における較正のための非線形関数を示す図である。

【図11】（a）は本発明の実施の形態において基準照度センサを較正するための較正用治具の一例を示す図、（b）はその較正用治具の別の例を示す図である。

【図12】従来の照度センサを備えた投影露光装置を示す概略構成図である。

#### 【符号の説明】

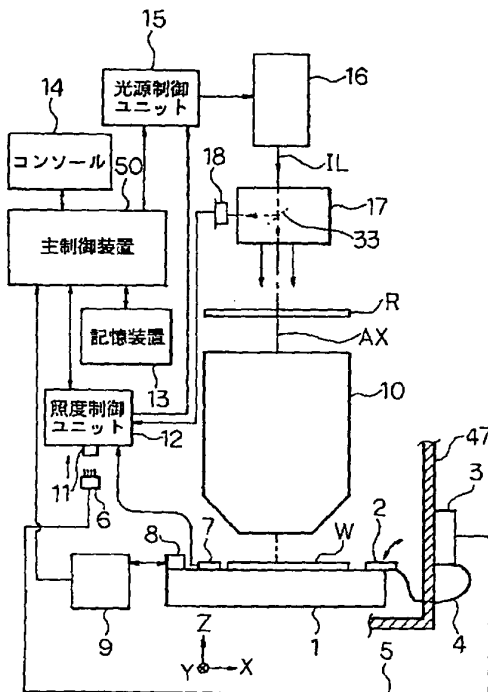
R レチクル



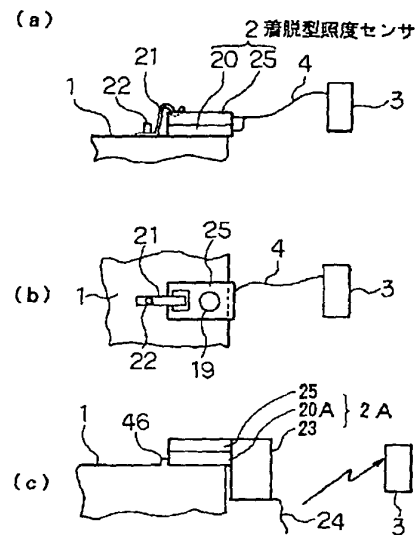
- W ウエハ  
 1 ウエハステージ  
 2 着脱型照度計  
 3 センサ制御装置  
 4, 5 信号ケーブル  
 6 コネクタ  
 7 固定型照度センサ  
 10 投影光学系  
 11 コネクタ  
 12 照度制御ユニット  
 13 記憶装置  
 14 コンソール  
 15 光源制御ユニット  
 16 光源部

- 17 照明系  
 18 インテグレートセンサ  
 20 温調素子  
 23 電源部  
 25 光電変換部  
 40 エキシマレーザ光源  
 41 レーザ制御装置  
 42 減光部制御系  
 44, 45 較正用治具  
 10 50 主制御装置  
 52A~52D 開口絞り  
 58, 62 ビームスプリッタ  
 59 信号処理系  
 60 ホストコンピュータ

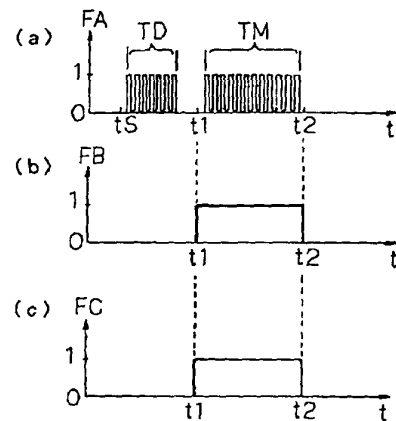
【図 1】



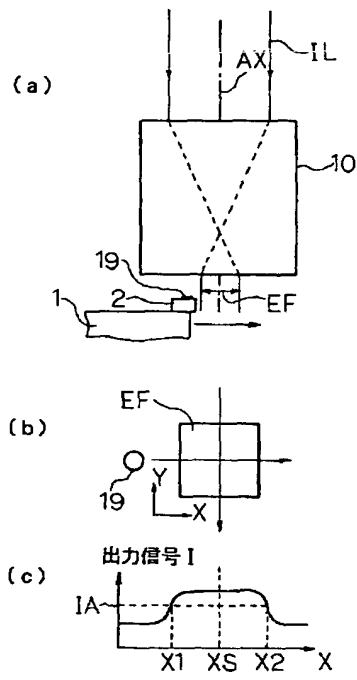
【図 2】



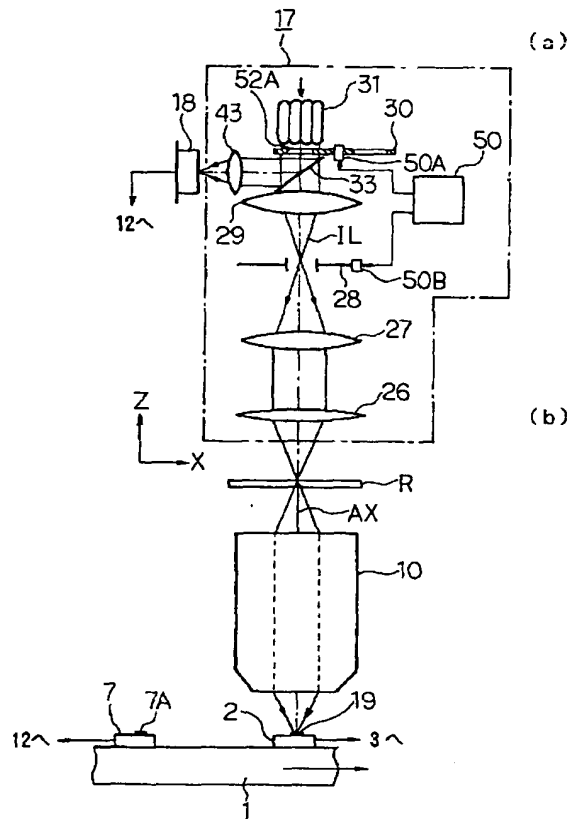
【図 9】



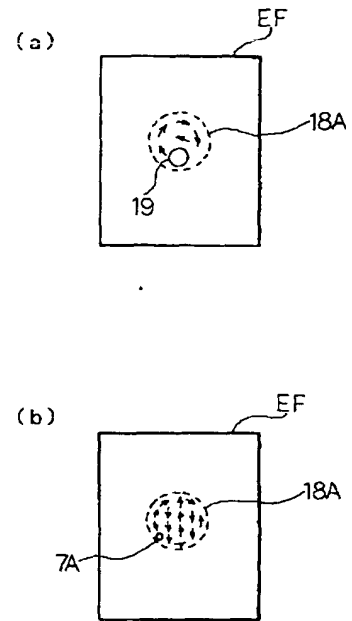
【図 3】



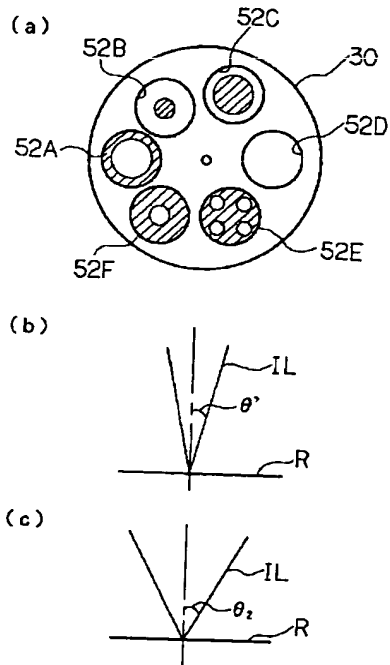
【図 4】



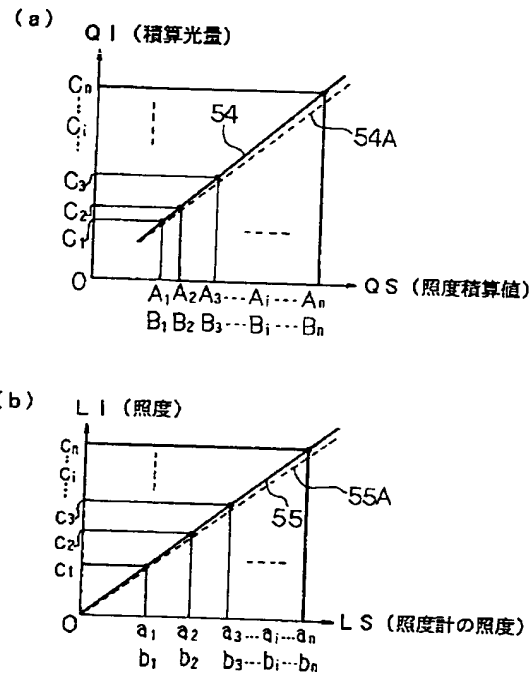
【図 5】



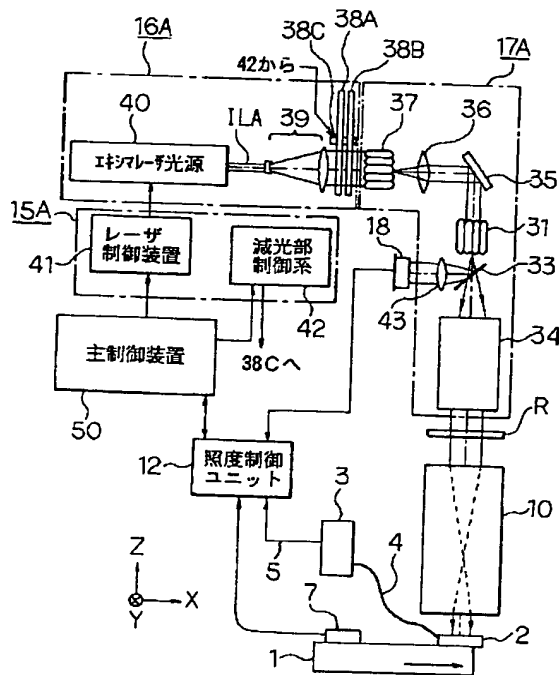
【図6】



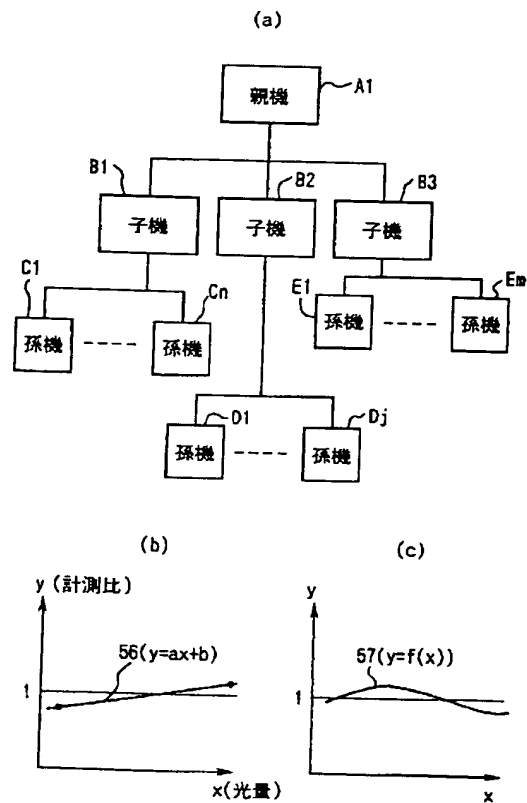
【図 7】



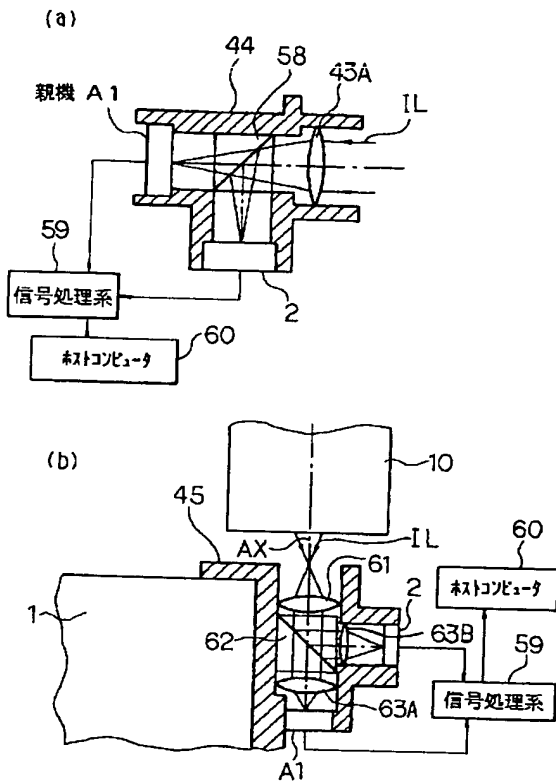
【図8】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

